

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ  
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING  
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

## 5G İÇ MEKAN UYGULAMALARI İÇİN 3D BASKI VE ALÜMİNYUM KAPLAMA ÇALIŞMASI İLE ÇİFT SIRTLI HORN ANTENİN ÜRETİMİ

REALIZATION OF A DOUBLE-RIDGE HORN ANTENNA WITH  
3D PRINTING AND ALUMINUM COATING STUDY FOR 5G  
INDOOR APPLICATIONS

**Yazarlar (Authors):** Ömer KASAR<sup>ID\*</sup>, Utkan Mustafa DURDAĞ<sup>ID</sup>



**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Kaşar Ö., Durdağ U. M., "5G İç Mekan Uygulamaları için 3D Baskı ve Alüminyum Kaplama Çalışması ile Çift Sırtlı Horn Antenin Üretimi" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 7(3): 499-504, (2023).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1365999

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

# 5G İÇ MEKAN UYGULAMALARI İÇİN 3D BASKI VE ALÜMİNYUM KAPLAMA ÇALIŞMASI İLE ÇİFT SIRTLI HORN ANTENİN ÜRETİMİ

Ömer KASAR<sup>a</sup> , Utkan Mustafa DURDAĞ<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü. TÜRKİYE

<sup>b</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü. TÜRKİYE

\* Sorumlu Yazar: [omerkasar@artvin.edu.tr](mailto:omerkasar@artvin.edu.tr)

(Geliş/Received: 25.09.23; Düzeltme/Revised: 09.12.23; Kabul/Accepted: 14.12.23)

## ÖZ

Antenler, kablosuz haberleşme sistemlerinde en temel bileşenlerden biri olarak yer alırlar. Eklemeli imalat ile üretilen antenler günümüzde geleneksel üretim tekniklerinin sınırlarını aşarak karmaşık ve özel anten yapılarının kolayca oluşturulabilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada eklemeli imalat ile bir çeşit Çift Sırtlı Horn Anten tasarımı ve üretim tekniği önerilmiştir. Anten mikrodalga frekanslarda tasarlandıktan sonra 3 boyutlu yazıcılar kullanarak PLA malzeme ile gerçekleştirilmiş ardından alüminyum folyo kaplanmıştır. Metal yapısı bir konnektörle bağlanarak antenin çalışması sağlanmıştır.

Önerilen Çift Sırtlı Horn Anten 2,38-2,85 GHz ile 4,80-5 GHz frekansları arasında iki ayrı rezonansta çalışmaktadır. 2,65 GHz ve 4,9 GHz'deki maksimum anten kazancı sırasıyla 1,7 ve 1,9 dB olarak gerçekleşmiştir. Bu iki rezonans için yarı güç ışın genişliği (HPBW) 45°'dir. Önerilen horn anten ile başlıca haberleşme bantları olan 2,45 ISM bandı uygulamaları ile 5 GHz altındaki 5G iç mekan (indoor) uygulamaları yapılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** 3D Yazıcı, Çift Sırtlı Horn Anten, PLA filament, 5G uygulamaları.

## REALIZATION OF A DOUBLE-RIDGE HORN ANTENNA WITH 3D PRINTING AND ALUMINUM COATING STUDY FOR 5G INDOOR APPLICATIONS

### ABSTRACT

Antennas are among the fundamental components in wireless communication systems. Additive manufacturing allows antennas to go beyond the limitations of traditional production techniques, enabling the easy creation of complex and specialized antenna structures.

In this study, a type of Double-Ridged Horn Antenna design and manufacturing technique using additive manufacturing is proposed. After designing the antenna for microwave frequencies, it was fabricated using PLA material with 3D printers and then coated with aluminum foil. The metal structure was connected with a connector to enable the antenna's operation.

The proposed Double-Ridged Horn Antenna operates at two separate resonances between 2.38-2.85 GHz and 4.80-5 GHz frequencies. The maximum antenna gain at 2.65 GHz and 4.9 GHz is 1.7 and 1.9 dB, respectively. The half-power beamwidth (HPBW) for these two resonances is 45°. The suggested horn antenna can be used for applications in the 2.45 ISM band and indoor 5G applications below 5 GHz.

**Keywords:** 3D Printing, Double Ridged Horn Antenna, Aluminium Coating, 5G Applications.

## 1. GİRİŞ

Antenler, kablosuz iletişimden uzay araştırmalarına kadar birçok alanda önemli bir rol oynarlar ve anten teknolojisi sürekli olarak geliştirilmektedir. Geleneksel anten üretim teknikleri, karmaşık yapılar için sınırlamalar getirirken, eklemeli imalat, tasarımcılara bir miktar özgürlük sağlar. Eklemeli imalat ve anten teknolojisinin birleşmesi, yeni bir dönemi başlatmıştır [1]. Bu birleşim, geleneksel üretim teknikleriyle elde edilemeyen karmaşık tasarımları mümkün hale getirmiştir. Bu gelişme, katmanlı üretim ve anten teknolojisinin birlikte ilerlemesini sağlamıştır. Ayrıca, eklemeli imalat ile hızlı prototipler oluşturabilir, bu da yenilikçi çalışmalarını hızlandıracaktır. Böylece istenilen frekanslara ve performans kriterlerine göre optimize edilmiş antenler üretilebilir [2].

Eklemeli imalat ile, maliyet açısından endüstriyel altta malzemelerin elektromanyetik özelliklerine eşdeğer özellikte malzemeler üretilebildiğinden, elektronik olarak da maliyet etkin ürünler ortaya konulabilmektedir [3].

FDM tipi yazıcılar ile üretilen 3D antenler, tasarlanırken tutarlı ve öngörülebilir performans elde etmek, malzeme seçimi ve elektromanyetik etkileşim gibi konularda dikkat gerektirir. ABS, PLA, PETG gibi malzemelerin yanında katkılı ve özel üretilmiş kompozit malzemeler de üretilebilmektedir. Baskı boyutlarındaki tek sınır yazıcının baskı tablasının genişliğidir. Baskının zorlayıcı etkileri aşıldığında, baskıda tek gereken, tasarımları elektromanyetik koşullara uydurmaktır. Bu nedenle büyük veya karmaşık antenlerin üretiminde verim ve hassasiyet arasında bir denge de gözetilmelidir [3].

Bu çalışmada eklemeli imalat yöntemi ile çift sırtlı horn anten üretimi yapılmıştır. 4 farklı parçanın birleşiminden oluşan anten geometrisi, birleşmeli olarak tasarlanmıştır. Anten yapısı metal özelliğini kazanabilmesi için alüminyum folyo bant ile kaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında temel anten tasarım parametrelerinden ve bir anteni tasarlamak için gerekli elektronik gerekliliklerden bahsedilmiştir. Üçüncü kısımda anten tasarımına yer verilmiştir. Gerek simülasyon ve gerek de baskı sonrası kaplama ile antenin

gerçeklendiği haliyle üretimi anlatılmıştır. Çalışmanın son kısmında gerçekleştirilen çift sırtlı horn anten ile yapılan ölçümlere yer verilmiştir. Antenin çalışma performansı tartışılarak çalışma alanlarına yönelik bir değerlendirme yapılmıştır.

## 2. ANTEN TASARIM PARAMETRELERİ VE 3D BASKI İLE GENEL BİR PERSPEKTİF

Her bir anten kullanım senaryosu için uygun anten tasarım parametreleri elde edilmelidir. Bu bölümde, anten tasarım parametreleri derinlemesine ele alınarak, kablosuz iletişimde ve diğer alanlarda başarılı bir şekilde kullanılan antenlerin temel bileşenleri tartışılacaktır.

**Işıma Örüntüsü ve Kazanç:** Antenlerin birincil görevi elektromanyetik dalgaları ışıtmak veya almak olduğundan, antenin ışımaya örüntüsü ve kazanç gibi özellikleri kritiktir. Işıma örüntüsü, antenin elektromanyetik dalgaları belirli bir yönde nasıl yaydığını veya aldığını ifade eder. Kazanç ise antenin bir yönde ne kadar etkili olduğunu gösterir. Bu özellikler, antenin performansını ve verimliliğini belirler. Anten kazancı, antenin verici veya alıcı olarak ne kadar etkili olduğunu ölçer. Bu parametre, antenin tasarımı ve yönlülüğü ile yakından ilişkilidir. Kazanç, genellikle logaritmik (dB) olarak ifade edilir ve antenin bir yöndeki kazancı, o yöndeki ışımının toplam enerjisine oranlanarak hesaplanır [4].

**Anten Polarizasyonu:** Anten polarizasyonu, elektromanyetik dalgaların yatay veya dikey düzlemlerde nasıl yayıldığını ifade eder. Bu parametre, antenin yatay veya dikey olarak monte edildiğinde nasıl çalıştığını gösterir. Doğrusal polarizasyon ve dairesel polarizasyon gibi farklı kutuplanma türleri vardır. Kutuplanma, antenlerin kullanılabilirliğini etkiler.

**Anten Çalışma Frekansı:** Antenlerin çalışma frekansı, iletişim veya algılama gereksinimlerine bağlı olarak belirlenir. Antenin çalışabileceği frekans aralığı, antenin tasarımını ve performansını etkiler. Genellikle, antenlerin en düşük ve en yüksek frekans sınırları "Alt Kesim Frekansı" ve "Üst Kesim Frekansı" olarak adlandırılır [4].

**Geri Dönüş Kaybı ve Bant Genişliği:** Geri dönüş kaybı, bir antenin ne kadar etkili

olduğunu gösteren önemli bir parametredir. Genellikle  $|S_{11}|$  parametresi ile ifade edilir ve antenden belirli bir frekansta yansıyan enerjiyi ölçer. Antenlerin haberleşme sistemlerinde kullanılabilmesi için geri dönüş kaybının belirli bir sınırın altında olması gerekir. Bant genişliği ise bu parametrenin 10 dB'nin altında olduğu frekans aralığını ifade eder [5-6].

**Malzeme Seçimi ve Çalışma Ortamı:** 3D baskı ile tasarlanan antenler için malzeme seçimi kritiktir. Malzeme, antenin elektriksel özelliklerini etkileyebilir ve 3D baskı süreçlerine uygun olmalıdır. Ayrıca anten, çalışacağı ortama uygun olarak tasarlanmalıdır. Çalışma ortamının elektriksel özellikleri, anten tasarımını etkileyebilir. Metal yapısı dikkate alındığında kış ortamı gibi iklim şartları korozyon ve paslanma faktörleri de dikkate alınmalıdır [3].

**Boyut ve Geometri:** Antenin boyutları ve geometrisi, tasarımın fiziksel olarak ne kadar büyük veya küçük olacağını belirler. 3D baskı, karmaşık geometrilerin ve özelleştirilmiş tasarımların oluşturulmasını kolaylaştırır. Ayrıca anten yapısı çalışma frekanslarını ve rezonansını da belirler [7].

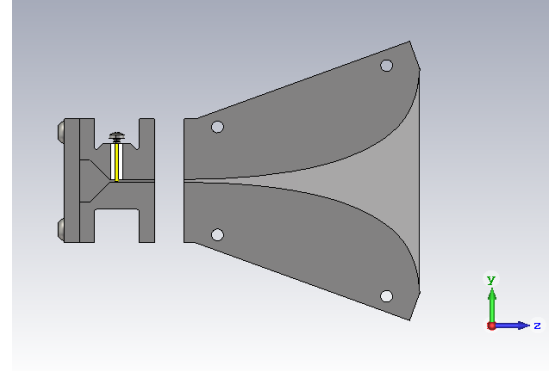
Anten tasarımı ve uygulamaları, bu temel parametrelerin dikkatle ele alınmasını gerektirir. Her bir parametre, antenin belirli bir uygulama veya kullanım senaryosuna uygun olmasını sağlamak için optimize edilmelidir. 3D baskı ve modern üretim teknolojileri, anten tasarımında daha fazla özelleştirme ve inovasyon fırsatları sunar. Bu nedenle, anten mühendisleri ve tasarımcıları, bu parametreleri dikkatle inceleyerek, geleceğin daha gelişmiş ve özelleştirilebilir antenlerini tasarlayabilirler.

### 3. ANTEN TASARIMI

Bu bölümde çift sırtlı bir horn antenin 3 boyutlu olarak tasarımı ve üretimi aşamalarından bahsedilmiştir. CST Microwave Studio programında tasarlanan antenin fiziksel olarak gerçekleştirilme aşamasına geçildiğinde üretim ve kaplama kısmı için araştırmalar yapılmıştır. Araştırmanın neticesinde üretimin PLA filament ile ve kaplamanın da alüminyum folyo ile yapılmasına karar verilmiştir.

PLA malzemeden anten tasarımı ile 3D yazıcının ön plana çıkması daha kompakt ve daha küçük parçaların kolaylıkla üretilebilmesine olanak sağlamıştır. Böylelikle

bir horn anteni parçalı olarak üretme fikri doğmuştur. Bu parçalı olarak basılan ve alüminyum folyo bant ile kaplanarak eklemeli olarak birleştirilen anten tasarımı meydana gelmiştir.

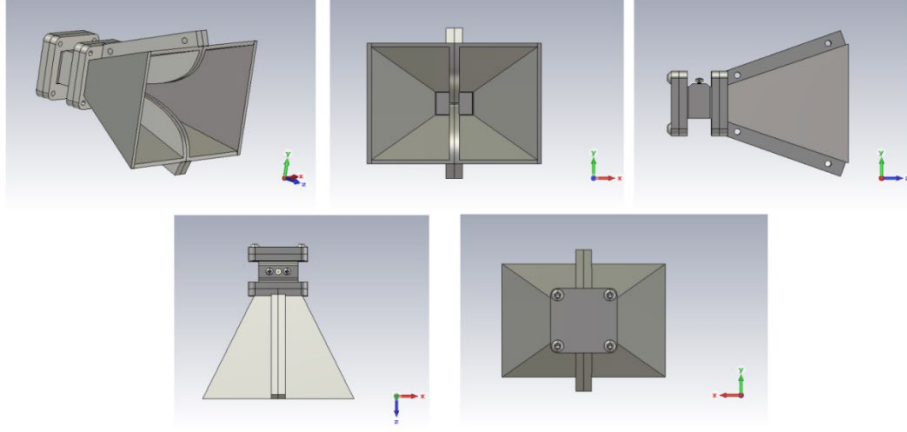


Şekil 1. Çift Sırtlı Horn antenin ara kesitten görünüşü

Anten tasarımı, dış ağız ölçüleri 100x70 mm<sup>2</sup> ve yüksekliği 110 mm olan bir yapıya sahiptir. Horn antenin geniş tarafını ortaya alan iki sırt yapısının kalınlığı 5 mm'dir. Antenin arka tarafı 50x50 mm boyutlarında dalga kılavuzu benzeri bir yapı ile tasarlanmıştır. Çift sırtlı horn anten tasarımı, ön, perspektif, yan ve üst görünüşleri Şekil 1'de sunulmuştur. Tasarlanan horn anten, PLA filament kullanılarak 3D yazıcıda basılmıştır. Anten tasarımını 3D yazıcının anlayabileceği boyutlara getirmek için baskı öncesi çeşitli ayarlamalar yapılmıştır. Tüm antenler için baskı katman kalınlığı 0.20 mm olarak belirlenmiş, duvar kalınlığı ise 2 mm olarak seçilmiştir. Ayrıca, yapı içindeki doluluk oranı baskılar için minimum %60 olarak ayarlanmıştır.

Eklemeli anten üretimi yapısal olarak 4 farklı parçanın birleşmesi ile bir bütünlük kazanmaktadır. Bu yapılar; konnektör kısmının takıldığı dalga kılavuzu girişi şeklindeki alt kısmı, birbirinin simetriği olan ve horn sırtlarını geometrik olarak ikiye bölen gövde kısmı, son olarak da antenin alt kısmın arkasına yerleştirilerek ışımının öne olmasını sağlayan kare dip elemanından oluşmaktadır. Şekil 1'de dip ve arka kısımlar ile gövde parçalarından birisinin ara kesitten görünüşü gösterilmiştir.

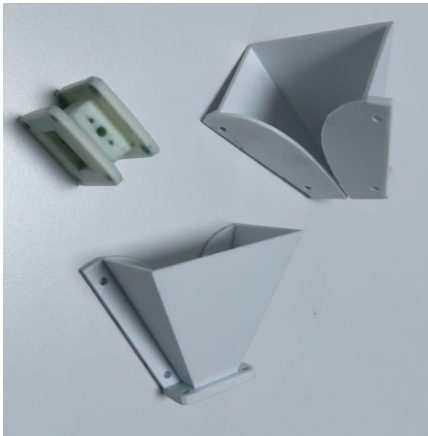
Anten tasarımında [8]'e yakın bir tasarım seçilmiştir. Bununla birlikte birlikte, Şekil 2'de parçalı olarak tasarlanan Çift Sırtlı Horn Antenin perspektif, yandan, üstten, alttan, önden ve arkadan görünüşü verilmiştir



Şekil 2. Çift Sırtlı Horn Antenin (soldan sırasıyla) perspektif, önden, yandan, üstten, alttan, ve arkadan görünüşü

Parçaların birbiri ile birleşmelerini ve yekpare bir bütün haline gelmesini sağlamak için her eklentinin birleşim kesitlerine vida delikleri yerleştirilmiştir.

3D olarak basılan parçalı horn anten, bir tarafı yapışkanlı alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Folyonun bir tarafındaki yapışkan antenin tamamını metal olarak kaplasa da bandın her bir parçasının iletkenliği kendi içindedir. Yani kaplama tek başına bir iletkenliğe sahip olamamıştır. Yine de antenin metalik bir yüzey olarak çalıştığı kabul edilmiştir. Bu varsayımın olası bir sonucu olarak anten kazançta b-ir miktar azalmayı da beraberinde getirmiştir [8,9,10]. Şekil 3'te Çift Sırtlı Horn Anten için basılan parçalar yer almaktadır. Burada 50x50 mm<sup>2</sup> dip parçası gösterilmese de anten 4 parçadan oluşmaktadır.



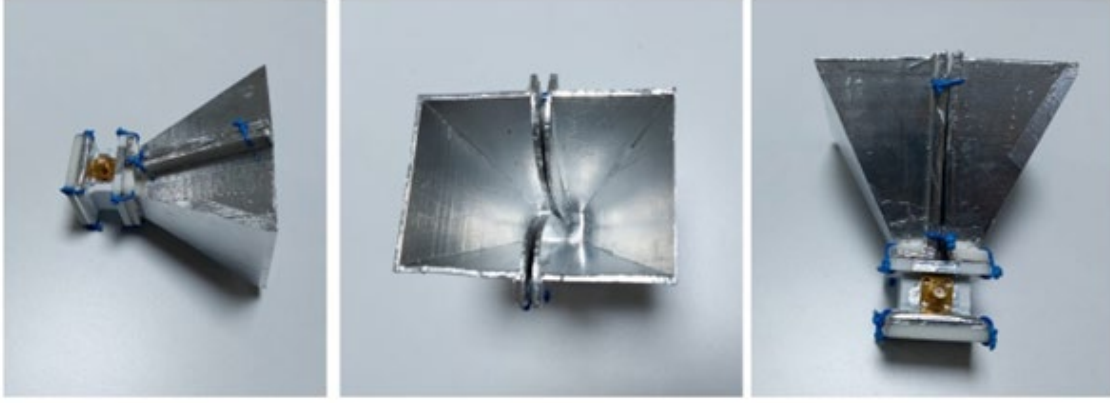
Şekil 3. Çift Sırtlı Horn Anten için basılan parçalar

Alüminyum folyo ile kaplanan antenin perspektif, önden ve üstten görünüşü Şekil 4'te gösterilmiştir. Konnektör yapısı için; canlı ucun iç taraftan karşı sırt (ridge) ile temas ettiği söylenebilir. Ayrıca toprak (ground) yüzeyin de iç kısım ile temas ettiği belirtilmelidir.

#### 4. SONUÇLAR

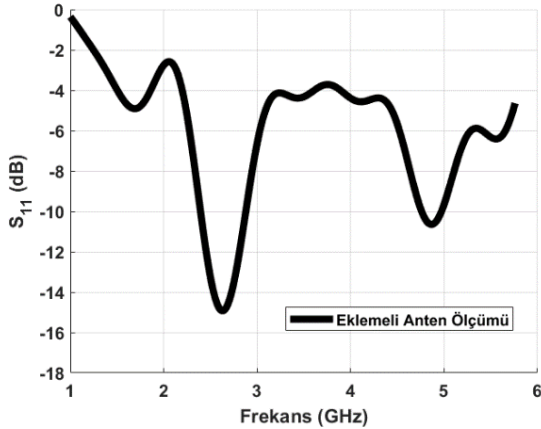
Bir antenin çalışıp çalışmadığının en önemli göstergesi, tasarlandığı frekanslarda geri dönüş kaybının ( $S_{11}$ ) istenilen değerlerin içinde kalması ile ölçülür. Bu çalışmada, üretilen antende  $S_{11} \leq -10$  dB değerini sağladığı frekanslara bakılmıştır.

Antenlerin ölçümünde, Rohde-Schwarz marka FSH6 Spektrum analizörü, yönlü kuplör kullanılarak network analizörü olarak kullanılmıştır. Parçalı olarak tasarlanan ve alüminyum folyo ile kaplanan antenin, cihazdan alınan  $S_{11}$  Geri Dönüş Kaybı-Frekans bilgileri MATLAB programında işlenerek ve Şekil 5'te verilmiştir. Grafiğe göre antenin alt kesim frekansı 2,38 GHz ve üst kesim frekansı da 2,85 GHz olarak ölçülmüştür. Ayrıca 4,8 GHz ile 5 GHz arasında ikinci bir rezonans görülmektedir. Böylelikle çift bantta (Dual Band) çalışmaktadır. Bu antenin uygun çalışma koşulları altında ve performans gerekliliklerine Merkez frekansı ISM bandı uygulamalarında. İkinci rezonans frekansı ise 5G iç mekan (indoor) uygulamalarında, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve kablosuz haberleşme WLAN uygulamalarında da kullanılabilir.



Şekil 4. Alüminyum folyo ile kaplanan antenin perspektif, önden ve üstten görünüşü

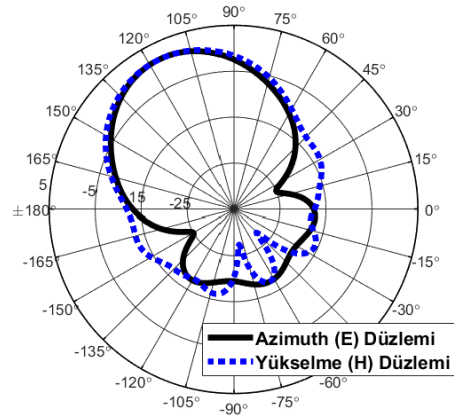
Anten performans parametrelerinden birisi de 'anten yönlü kazancı' olarak yukarıda belirtilmişti. 3 boyutlu baskılı ve alüminyum kaplamalı çift sırtlı horn anten için anten kazanç örüntüsü çizdirilmiştir. Şekil 6'da antenin en büyük rezonansı olan merkez frekansına ait rezonansı  $f_1 = 2,65$  GHz için kazanç ışıma örüntüsü grafiği verilmiştir. Grafiğe göre antenin maksimum reel kazancı 1,7 dB olarak gerçekleşmiştir.



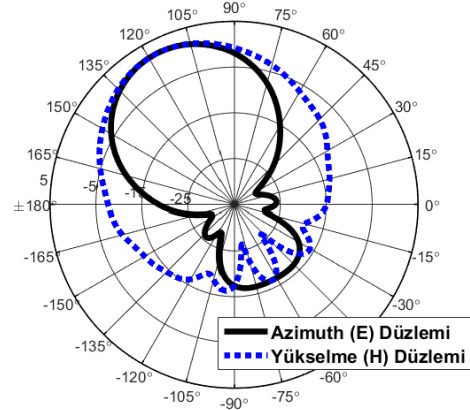
Şekil 5. Geri Dönüş Kaybı-Frekans Grafiği

Anten yarı güç değerlerini kesiştiği açı değerleri  $95^\circ$  ile  $140^\circ$  arasındadır. Böylelikle  $f_1$  frekansında yarı güç ışıma genişliği (HPBW)  $45^\circ$  olarak hesaplanabilir.

Şekil 7'de antenin ikincil rezonans frekansına ait rezonans  $f_2 = 4,90$  GHz için kazanç ışıma örüntüsü grafiği verilmiştir. Grafiğe göre antenin maksimum reel kazancı 1,9 dB olarak gerçekleşmiştir. Anten yarı güç değerlerinin kesiştiği açı değerleri ilk rezonans ile benzerlik göstermektedir. Böylelikle  $f_2$  frekansında yarı güç ışıma genişliği (HPBW)  $45^\circ$  olduğu söylenebilir. Böylesine yönlü bir geometri için  $45^\circ$  değeri oldukça yeterlidir.



Şekil 1. Merkez frekansına ait kazanç ışıma örüntüsü grafiği



Şekil 2. İkincil rezonans frekansına ait rezonans için kazanç ışıma örüntüsü

## 5. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada eklemeli imalat ile çift sırtlı horn anten üretimi gerçekleştirilmiştir. Anten mikrodalga frekanslarda simüle edildikten sonra 3 boyutlu yazıcılar kullanarak PLA malzeme ile gerçekleştirilmiş ardından alüminyum folyo kaplanarak SMA konnektör ile bağlantıları yapılmıştır.



Tasarlanan çift sırtlı horn anten 2,38-2,85 GHz ile 4,80-5 GHz frekansları arasında iki rezonans ayrı rezonansa çalışmaktadır. En büyük rezonansın merkez frekansı  $f_1 = 2,65$  için anten maksimum kazancı 1,7 dB ve ikincil rezonans olan  $f_2 = 4,90$  GHz içinde kazanç 1,9 dB olarak belirlenmiştir. İki rezonans için de yarı güç ışın genişliği (HPBW)  $45^\circ$ 'dir. Anten kazancı, gerek çalışma frekansı gerekse boyutları dikkate alınacak olursa, literatürdeki aynı tipteki benzer horn antenlere yaklaşacak seviyededir. Söz konusu benzerlerinin yaklaşık olarak 4-5 dB seviyesi, antenin 3D yazıcı malzemesi olan PLA (plastik) malzemeden üretilmesi ayrıca folyo kaplamasının parçalı olması antende kazancın, benzerlerinin altında kalsa da yakın seviyede olduğu düşünülmektedir. Bu kazanç azalmasının, 3 dB ve altında olduğundan, kabul edilebilir bir seviyede olduğu değerlendirilmektedir.

Bu anten, merkez frekansı 2,45 GHz frekansı için başlıca ISM bandı uygulamalarında kullanılabilir. İkinci rezonans olan 5 GHz frekansında ise civarındaki 5G iç mekan (indoor) uygulamalarında, ayrıca Nesnelerin İnterneti (IoT) ve WLAN uygulamalarında da kullanılabilir.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışmada elde edilen bilimsel bulgular ve bilimsel ilerlemeler Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından "AÇÜ-BAP-2021.F40.02.01" ve "AÇÜ-BAP-2022.F14.02.01" numaralı Kapsamlı Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. Elde edilen kazanımlar için yazarlar Artvin Çoruh Üniversitesi'ne minnet duyarak teşekkür etmektedir.

### KAYNAKLAR

1. Callister, W. D., Fundamentals of materials science and engineering (2 ed., Vol. 471660817). Wiley London.
2. Kasar, Ö. "Determining The Water Level in Pvc Water Pipes With Micro-Strip Dipole Antennas." Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, Vol. 8, Issue 4 ,Pages 1165-1169, 2020.
3. Kasar, Ö, Geçin, M, Gözel, MA., Design and implementation of a 3D printed RF power transceiver clamp to measure the water level in PVC water pipes. Int J RF Microw Comput Aided Eng., Vol. 31, Issue e22644, 2021.

4. Balanis, C. A.. Antenna theory, analysis and design (3rd ed.). Wiley, 2005.

5. Pozar, D. M.. Microwave Engineering (3rd ed.). Wiley, 2006.

6. Kasar, O., Numerical and Experimental Analysis on Real Impedance Matching Techniques for Rectangular and Circular Shaped Patch Antennas Suleyman Demirel University, Isparta.

7. Tayyab, M., Sharawi, M. S., & Al-Sarkhi, A. J. I. S. J. . A radio frequency sensor array for dielectric constant estimation of multiphase oil flow in pipelines. Vol. 17, Issue 18, Pages 5900-5907, 2017.

8. Majumdar, B., Baer, D., Chakraborty, S., Esselle, K.P. and Heimlich, M., Advantages and limitations of 3D printing a dual-ridged horn antenna. Microw. Opt. Technol. Lett., Vol.58: Pages 2110-2117, 2016.

9. S. Sarjoghian, M. H. Sagor, Y. Alfadhil and X. Chen, "A 3D-Printed High-Dielectric Filled Elliptical Double-Ridged Horn Antenna for Biomedical Monitoring Applications," in *IEEE Access*, Vol. 7, Pages. 94977-94985, 2019,

10. Surmeli, K., and Kizilay, A., Slant polarized wideband double ridged horn antenna with a slant polarizer. Electromagnetics, Vol.41 Issue 3, Pages 196-207, 2021.